不同工艺参数组合对肉鸡颗粒饲料加工质量、生长性能和养分表观消化率的影响[1]

马世峰[1,2]　李军国[1]　于纪宾[1]　于治芹[1]　秦玉昌[3*]

（1.中国农业科学院饲料研究所，北京 100081；2.农业部食物与营养发展研究所，北京 100081；3.中国农业科学院北京畜牧兽医研究所，北京 100193）

摘　要：本试验旨在研究筛片孔径、调质温度、模孔直径的不同工艺参数组合对肉鸡颗粒饲料加工质量、生长性能和养分表观消化率的影响。以玉米–豆粕型全价配合饲料为肉鸡试验饲粮，在相同配方及模孔长径比一致的条件下，设计 3 因素 2 水平（筛片孔径：2.0 和 2.5 mm；调质温度：70 和 80 ℃；模孔直径：3 和 4 mm）的肉鸡颗粒饲料加工试验，选用 864 只 1 日龄爱拔益加（AA）肉仔鸡，随机分为 8 个处理，每个处理 6 个重复，每个重复 18 只鸡。饲养试验共 42 天，分 1~21 日龄和 22~42 日龄 2 个阶段。结果表明：1）筛片孔径和模孔直径以及调质温度和模孔直径的交互作用对颗粒硬度有极显著影响（$P<0.01$），调质温度和模孔直径的交互作用、筛片孔径和调质温度的交互作用以及筛片孔径、调质温度和模孔直径的交互作用对颗粒耐久性有极显著影响（$P<0.01$），筛片孔径和模孔直径的交互作用对颗粒耐久性有显著影响（$P<0.05$）。2）调质温度对 1~21 日龄肉鸡末重、平均日增重和平均日采食量有极显著影响（$P<0.01$），对 22~42 日龄肉鸡末重有极显著影响（$P<0.01$）。3）肉鸡 1~21 日龄，筛片孔径、调质温度以及 2 因素的交互作用对肉鸡养分表观消化率的影响不显著（$P>0.05$）；肉鸡 22~42 日龄，筛片孔径、调质温度和模孔直径的交互作用对肉鸡干物质、能量和粗蛋白质表观消化率有极显著影响（$P<0.01$）。综合得出：相同筛片孔径和模孔直径下，颗粒硬度和耐久性随调质温度升高有增大趋势；相同筛片孔径和调质温度下，颗粒硬度和耐久性随模孔直径的增大有降低趋势；肉鸡 1~21 日龄，筛片孔径选择 2.0 和 2.5 mm 均可，调质温度为 70 ℃时肉鸡的生长性能极显著高于 80 ℃时，且料重比显著低于 80 ℃；肉鸡 22~42 日龄，当筛片孔径为 2.0 或 2.5 mm、调质温度为 70 ℃、模孔直径为 4.0 mm 时肉鸡生长性能较高、料重比较低；肉鸡 1~42 日龄，当筛片孔径为 2.0 或 2.5 mm、调质温度为 70 ℃、模孔直径为 4.0 mm 时肉鸡的生长性能较高、料重比较低；当筛片孔径为 2.5 mm、调质温度为 80 ℃时，1~21 日龄肉鸡干物质、能量和粗蛋白质表观消化率较高；当筛片孔径为 2.5 mm、调质温度为 70 ℃、模孔直径为 4.0 mm 时，22~42 日龄肉鸡干物质、能量和粗蛋白表观消化率最高。

关键词：筛片孔径；调质温度；模孔直径；肉鸡饲粮；生长性能；表观消化率

中图分类号：S831.5

影响颗粒饲料加工质量的因素包括配方组成、原料的粉碎粒度、调质温度、模孔直径及其长径比等。在相同配方下，关于粉碎粒度、调质温度、模孔直径等对肉鸡颗粒饲料加工质量、营养物质消化率和肉鸡生长性能的影响研究已有文献报道。粉碎粒度不仅影响饲料产品的加工质量，而且对饲粮营养价值、动物生产性能及饲料转化率有很大影响[1]。Parsons 等[2]的研究证实了小颗粒饲粮会导致肉鸡采食量下降，进而导致肉鸡生长性能降低。Ribeiro 等[3]研究显示，22~42 日龄肉鸡玉米型饲粮的粉碎粒度由 337 μm 增加到 868 μm，肉鸡体重随饲料粒度的增加而增加。但有些研究报道饲粮粉碎粒度越大肉鸡生长性能越差[4-6]。调质过程是整个饲料加工过程中一个重要环节，Svihus 等[7]研究报道饲料经过 75 ℃的调质以后有利于肉鸡生长性能以及表观代谢能的提高。Kirkpinar 等[8]研究显示，与粉料饲粮和 75~85 ℃调质下的颗粒饲料相比，饲喂 65 ℃调质温度下的颗粒饲料，肉鸡的体增重升高。胡彦茹[9]研究表明，当调质温度达到 90 ℃时，肉鸡生长性能及营养物质表观利用率有下降趋势。因此，找到合适的调质温度对于肉鸡生长性能的提高和饲粮质量的提高意义重大。谭鹤群等[10]

[1]收稿时间：2016–10–25
基金项目：现代农业产业技术体系北京市家禽创新团队项目（BAIC04-2016）；公益性行业（农业）科研专项“饲料高效低耗加工技术研究与示范（201203015）”；“十二五”国家科技支撑计划课题“安全优质饲料生产关键技术研发与集成示范（2011BAD26B04）”
作者简介：马世峰（1994–），男，山西临汾人，硕士研究生，从事饲料加工与动物营养研究。E-mail: shifengma@126.com
*通信作者：秦玉昌，研究员，博士生导师，E-mail: qinyuchang@caas.cn

报导，提高调质温度，减小环模孔径，能提高饲粮中淀粉糊化度，降低成品粉化率。另外，谭鹤群等[11]研究表明，高调质温度和小模孔环模改善了肉鸡的平均日增重和料重比。可见，良好的制粒效果，有助于改善饲粮的适口性，提高饲粮的转化效率。饲料加工过程是复杂的，虽然每一项加工参数都会对饲粮的质量及饲喂效果产生影响，但是这些影响都是在各项参数的交互作用下产生的，因此，研究不同加工参数的交互作用更有意义。

本研究选取典型肉鸡饲粮类型，在相同配方、模孔长径比条件下，设计 3 因素 2 水平的肉鸡颗粒饲料加工试验，研究筛片孔径、调质温度、颗粒直径的不同工艺参数组合对肉鸡颗粒饲料加工质量、生长性能及养分表观消化率的影响，研究这 3 个因素之间的交互作用，确定肉鸡饲料最佳适宜加工条件，供肉鸡饲料生产企业参考。

1 材料与方法

1.1 试验饲粮

试验饲粮组成及营养水平见表 1。

表 1 试验饲粮组成及营养水平（风干基础）

Table 1 Composition and nutrient levels of experimental diets （air-dry basis） %

项目 Items	1~21日龄 1 to 21 days of age	22~42 日龄 22 to 42 days of age
原料 Ingredients		
玉米 Corn	57.24	62.95
豆粕 Soybean meal	35.41	28.04
玉米蛋白粉 Corn gluten meal	1.50	3.05
大豆油 Soybean oil	1.70	2.00
石粉 Limestone	1.48	1.24
磷酸氢钙 $CaHPO_4$	1.21	1.29
蛋氨酸 Met	0.16	0.13
食盐 NaCl	0.30	0.30
预混料 Premix[1)]	1.00	1.00
合计 Total	100.00	100.00
营养水平 Nutrient levels[2)]		
代谢能 ME/(MJ/kg)	12.05	12.50
粗蛋白质 CP	21.10	19.31
钙 Ca	1.00	0.90
有效磷 AP	0.40	0.40
赖氨酸 Lys	1.05	0.90
蛋氨酸 Met	0.50	0.45

[1)]预混料为每千克 1~21 日龄饲粮提供 The premix provided the following per kg of diet for 1 to 21 days of age：VA 10 000 IU，VD_3 1 000 IU，VE 20 IU，VK_3 0.5 mg，VB_1 2.0 mg，VB_2 8.0 mg，泛酸 pantothenic acid 10.0 mg，烟酸 niacin 35.0 mg，VB_6 3.5 mg，生物素 biotin 0.05 mg，叶酸 folic acid 0.55 mg，VB_{12} 0.01 mg，胆碱 choline 1 300 mg，Fe （as ferrous sulfate） 100 mg，Cu （as copper sulfate） 8.0 mg，Zn （as zinc sulfate） 100 mg，Mn （as manganese sulfate） 120 mg，I （as potassium iodide） 0.7 mg，Se （as sodium selenite） 0.3 mg，黄霉素 flavomycin 6 mg，盐霉素 salinomycin 70 mg。

预混料为每千克 22~42 日龄饲粮提供 The premix provided the following per kg of diet for 22 to 42 days of age：VA 8 000 IU，VD_3 750 IU，

VE 15 IU，VK_3 0.5 mg，VB_1 2.0 mg，VB_2 5.0 mg，泛酸 pantothenic acid 10.0 mg，烟酸 niacin 30.0 mg，VB_6 3.5 mg，生物素 biotin 0.05 mg，叶酸 folic acid 0.55 mg，VB_{12} 0.01 mg，胆碱 choline 1 000 mg，Fe （as ferrous sulfate） 80 mg，Cu （as copper sulfate） 8.0 mg，Zn （as zinc sulfate） 80 mg，Mn （as manganese sulfate） 100 mg，I （as potassium iodide） 0.7 mg，Se （as sodium selenite） 0.3 mg，黄霉素 flavomycin 4 mg，盐霉素 salinomycin 50 mg。

2)营养水平为实测值。Nutrient levels were measured values.

1.2 试验设计与饲料加工

在相同配方、模孔长径比 10：1 条件下，设计粉碎机筛片孔径、制粒调质温度、模孔直径 3 因素 2 水平的肉鸡颗粒饲料加工及饲喂析因试验，不同处理加工工艺参数见表 2 和表 3。

表 2 前期(1~21 日龄)不同处理肉鸡颗粒饲料加工工艺参数

Table 2 Processing parameters of the pellet feed for broilers in early period (1 to 21 days of age)

处理 Treatments	筛片孔径 Mesh size of screen/mm	调质温度 Conditioning temperature/℃	破碎 Crushing
1	2.0	70	破碎料
2	2.0	80	破碎料
3	2.5	70	破碎料
4	2.5	80	破碎料

表 3 后期（22~42 日龄）不同处理肉鸡颗粒饲料加工工艺参数

Table 3 Processing parameters of the pellet feed for broilers in later period (22 to 42 days of age)

处理 Treatments	筛片孔径 Mesh size of screen/mm	调质温度 Conditioning temperature/℃	模孔直径 Diameter of die hole/mm
1	2.0	70	3
2	2.0	70	4
3	2.0	80	3
4	2.0	80	4
5	2.5	70	3
6	2.5	70	4
7	2.5	80	3
8	2.5	80	4

1.3 饲料样品采集

每个处理在制粒冷却后取样 4 次，每次取样时间间隔一致，各取样量不少于 2 kg。取样后用密封袋包装，贮备于 4 ℃冰箱中用于各项指标检测。

1.4 试验动物及分组

选用 864 只 1 日龄爱拔益加（AA）肉仔鸡，随机分为 8 个处理，每个处理 6 个重复，每个重复 18 只鸡，要求性别比例一致，各处理之间起始体重差异均不显著（$P>0.05$）。试验分 2 期进行，分别为 1~21 日龄和 22~42 日龄，采用笼养的方式饲养。

1.5 饲养管理

试验由专人负责，试验前对鸡舍进行全面消毒，饲养管理参照《AA 肉仔鸡饲养管理手册》进行，给肉仔鸡提供适宜

的生长环境条件（包括温度、湿度、光照和通风等）。试验肉鸡自由采食和饮水。

1.6　代谢试验方法

在 18、39 日龄晚上将粪盘清干净，在 19~21 日龄和 40~42 日龄连续 3 d 收集粪便，早、晚分别从每重复中均匀采集粪样约 200 g，以重复为单位充分混匀，样品置于－20 ℃冰箱冷冻保存，以内源指示剂法测定各养分的表观消化率。

1.7　检测指标及方法

1.7.1　加工质量的测定

1.7.1.1　颗粒硬度的测定

饲料颗粒硬度采用质构分析仪（TA.XT2,Surrey,UK）测定，试验数据为随机采集 20 个样品的平均值。

1.7.1.2　颗粒耐久性（PDI）的测定

将 500 g 已过筛除去细粉的样品放进颗粒耐久性测试装置中翻转 10 min，取出样品，过筛，称量剩余的颗粒饲料重量，按下列公式计算 PDI：

PDI（%）=100×翻转后颗粒料的重量/翻转前颗粒料的重量。

1.7.2　生长性能的测定

分别于 20 与 41 日龄早上开始控料，自由饮水，使试验鸡空腹 24 h，与 21 和 42 日龄早上逐只称重，以重复为单位计算各组试验鸡的平均体重。准确记录每天耗料量，出现死鸡时截料称重，计算各阶段总耗料量。

平均日采食量＝总耗料量/（只数×天数）；

平均日增重＝总增重/（只数×天数）；

料重比＝总耗料量/总增重。

1.7.3　养分表观消化率

饲粮养分的表观消化率采用内源指示剂方法测定，用 4 mol/L 盐酸不溶灰分作为内源指示剂。

某养分表观消化率（%）=$[(a/c-b/d)/(a/c)]\times100$。

式中：a 为饲粮中某养分含量（%）；b 为粪中某养分含量（%）；c 为饲粮中指示剂含量（%）；d 为粪中指示剂含量（%）。

盐酸不溶灰分含量按照盐酸消煮法测定。粗蛋白质含量参照 GB/T 6432–1994 通过凯氏定氮法测定。干物质含量参照 GB/T 6435–2006 测定。

1.8　数据处理

试验数据采用 SPSS 17.0 进行 2×2 双因素方差分析及 2×2×2 三因素方差分析，显著水平以 $P<0.05$ 计，数据以平均值±标准差形式表示。

2　结　果

2.1　不同工艺参数组合对肉鸡颗粒饲料加工质量的影响

不同工艺参数组合对肉鸡颗粒饲料加工质量的影响结果见表 4。由表可知，除筛片孔径和调质温度的交互作用以及筛片孔径、调质温度和模孔直径的交互作用对颗粒硬度的影响不显著（$P>0.05$）外，筛片孔径、调质温度和模孔直径及其 2 因素之间的交互作用对颗粒硬度、PDI 有极显著（$P<0.01$）或显著（$P<0.05$）影响。相同筛片孔径和模孔直径下，调质温度为 80 ℃时的颗粒硬度和 PDI 均高于 70 ℃时；相同筛片孔径和调质温度下，颗粒硬度和 PDI 随模孔直径的增大有降低趋势；相同调质温度和模孔直径下，颗粒硬度和 PDI 随筛片孔径的变化没有呈现规律性变化。

表 4　不同工艺参数组合对肉鸡颗粒饲料加工质量的影响

Table 4　Effects of different process parameters combination on the quality of feed processing for broilers

处理 Treatments	筛片孔径 Mesh size of screen/mm	调质温度 Conditioning temperature/℃	模孔直径 Diameter of die hole /mm	颗粒硬度 Particle hardness/g	颗粒耐久性 PDI/%
1	2.0	70	3.0	3 205.40±247.46	94.75±0.18
2	2.0	70	4.0	3 139.70±13.41	93.61±0.01
3	2.0	80	3.0	3 890.62±81.11	95.41±0.35
4	2.0	80	4.0	3 169.90±51.35	95.97±0.07
5	2.5	70	3.0	3 085.66±51.07	95.57±0.07
6	2.5	70	4.0	3 376.12±103.81	94.38±0.10
7	2.5	80	3.0	3 799.02±66.14	96.08±0.01
8	2.5	80	4.0	3 630.78±56.93	95.97±0.03
P 值 *P*-value					
筛片孔径 Mesh size of screen				0.001	<0.001
调质温度 Conditioning temperature				<0.001	<0.001
模孔直径 Diameter of die hole				<0.001	<0.001
筛片孔径×调质温度 Mesh size of screen×conditioning temperature				0.071	0.002
筛片孔径×模孔直径 Mesh size of screen×diameter of die hole				<0.001	0.010
调质温度×模孔直径 Conditioning temperature×diameter of die hole				<0.001	<0.001
筛片孔径×调质温度×模孔直径 Mesh size of screen×conditioning temperature×diameter of die hole				0.157	0.025

批注 [W用1]: <0.001,其他同

2.2 不同工艺参数组合加工饲粮对肉鸡生长性能的影响

2.2.1 1~21 日龄和 22~42 日龄肉鸡生长性能

1~21 日龄和 22~42 日龄肉鸡生长性能见表 5。由表可知，1~21 日龄，筛片孔径、筛片孔径与调质温度的交互作用对肉鸡末重、平均日增重、平均日采食量和料重比的影响不显著（P>0.05）。在 70 ℃调质温度下，筛片孔径为 2.0 和 2.5 mm 时肉鸡的生长性能基本一样，仅当筛片孔径为 2.5 mm 时料重比有所降低；在 80 ℃调质温度下，筛片孔径为 2.0 mm 时比 2.5 mm 时肉鸡的生长性能要高，但当筛片孔径为 2.5 mm 时料重比较低。调质温度对 1~21 日龄肉鸡末重、平均日增重和平均日采食有极显著的影响（P<0.01），在筛片孔径为 2.0 和 2.5 mm 时，调质温度为 70 ℃时比 80 ℃时肉鸡的生长性能高、料重比低。

22~42 日龄，调质温度对肉鸡的末重有极显著的影响（P<0.01），对平均日增重有显著的影响（P<0.05），对平均日采食量、料重比的影响不显著（P>0.05），筛片孔径、模孔直径对肉鸡生长性能的影响不显著（P>0.05），筛片孔径、调质温度和模孔直径两两因素和三因素之间的交互作用对肉鸡生长性能的影响也不显著（P>0.05）。在相同筛片孔径和模孔

直径条件下，调质温度为 70 ℃时比 80 ℃时肉鸡的生长性能高、料重比低；除 80 ℃调质温度、4.0 mm 模孔直径条件下，筛片孔径为 2.5 mm 时比 2.0 mm 时肉鸡的生长性能要高、料重比要低外，其他几组在相同调质温度和模孔直径下，筛片孔径为 2.0 mm 时和 2.5 mm 时肉鸡的生长性能基本一致；在 70 ℃调质温度下，同一筛片孔径下，模孔直径为 4.0 mm 时比 3.0 mm 时肉鸡的生长性能较高，而在 80 ℃调质温度下，同一筛片孔径，模孔直径为 3.0 mm 时比 4.0 mm 时肉鸡的生长性能要好。筛片孔径选择 2.0 或 2.5 mm，在调质温度为 70 ℃、模孔直径为 4.0 mm 的制粒条件下，22~42 日龄肉鸡的生长性能较高、料重比较低。

表 5　1~21 日龄和 22~42 日龄肉鸡生长性能

Table 5　Growth performance of broilers at 1 to 21 days of age and 22 to 42 days of age

处理 Treatments	筛片孔径 Mesh size of screen/mm	调质温度 Conditioning temperature/℃	模孔直径 Diameter of die hole/mm	末重 FBW/g	平均日增重 ADG/g	平均日采食量 ADFI/g	料重比 F/G
1~21 日龄 1 to 21 days of age							
1	2.0	70	—	667.55±41.94	31.79±2.00	45.35±1.93	1.43±0.06
2	2.0	80	—	634.65±50.61	30.22±2.41	44.10±2.06	1.46±0.07
3	2.5	70	—	665.60±38.96	31.70±1.86	44.47±1.96	1.40±0.04
4	2.5	80	—	614.76±61.39	29.27±2.92	41.93±2.83	1.44±0.06
P 值 *P*-value							
筛片孔径 Mesh size of screen				0.445	0.445	0.023	0.144
调质温度 Conditioning temperature				0.005	0.005	0.005	0.042
筛片孔径×调质温度 Mesh size of screen×conditioning temperature				0.529	0.529	0.324	0.900
22~42 日龄 22 to 42 days of age							
1	2.0	70	3.0	2 165.18±112.02	71.94±4.89	141.88±8.36	1.98±0.07
2	2.0	70	4.0	2 226.03±202.10	73.59±8.48	144.76±12.67	1.98±0.14
3	2.0	80	3.0	2 108.00±101.86	69.54±3.94	141.96±9.03	2.04±0.08
4	2.0	80	4.0	1 965.65±93.41	64.00±4.76	137.24±5.68	2.15±0.11
5	2.5	70	3.0	2 176.94±119.85	71.46±5.27	144.34±13.55	2.03±0.23
6	2.5	70	4.0	2 225.22±120.08	74.78±5.85	145.31±6.96	1.95±0.12
7	2.5	80	3.0	2 102.65±184.66	70.55±8.38	141.95±8.58	2.04±0.27
8	2.5	80	4.0	2 090.23±207.25	70.57±6.55	138.88±10.16	1.97±0.06
P 值 *P*-value							

筛片孔径 Mesh size of screen	0.455	0.256	0.680	0.374
调质温度 Conditioning temperature	0.004	0.022	0.155	0.131
模孔直径 Diameter of die hole	0.793	0.941	0.726	0.858
筛片孔径×调质温度 Mesh size of screen×conditioning temperature	0.534	0.345	0.902	0.236
筛片孔径×模孔直径 Mesh size of screen×diameter of die hole	0.500	0.321	0.981	0.166
调质温度×模孔直径 Conditioning temperature×diameter of die hole	0.134	0.152	0.305	0.517
筛片孔径×调质温度×模孔直径	0.413	0.590	0.752	0.593

2.2.2 1～42 日龄肉鸡生长性能

1～42 日龄肉鸡生长性能见表 6。由表可知，1~42 日龄，调质温度对肉鸡平均日增重有极显著的影响（P<0.01），对平均日采食量、料重比的影响不显著（P>0.05），筛片孔径、模孔直径对肉鸡生长性能的影响不显著（P>0.05），3 因素交互作用对肉鸡生长性能的影响也不显著（P>0.05）。在 70 ℃调质温度、同一筛片孔径下，模孔直径为 4.0 mm 时比 3.0 mm 时肉鸡的生长性能高，而在 80 ℃调质温度、同一筛片孔径下，模孔直径为 3.0 mm 时比 4.0 mm 时肉鸡的生长性能高；在相同筛片孔径、相同模孔直径下，调质温度为 70 ℃时比 80 ℃时肉鸡的生长性能总体要高；在相同调质温度和模孔直径下，筛片孔径为 2.0 mm 时和 2.5 mm 时肉鸡的生长性能基本一致。本试验条件下，筛片孔径为 2.0 或 2.5 mm、调质温度为 70 ℃、模孔直径为 4.0 mm 的制粒条件下，1~42 日龄肉鸡的生长性能较高、料重比较低。

表 6 1～42 日龄肉鸡生长性能

Table 6 Growth performance of broilers at 1 to 42 days of age

处理 Treatments	筛片孔径 Mesh size of screen/mm	调质温度 Conditioning temperature/℃	模孔直径 Diameter of die hole /mm	平均日增重 ADG/g	平均日采食量 ADFI/g	料重比 F/G
1	2.0	70	3.0	51.55±2.67	95.32±3.46	1.85±0.07
2	2.0	70	4.0	53.00±4.81	98.29±5.74	1.86±0.14
3	2.0	80	3.0	50.19±2.43	98.07±7.02	1.95±0.06
4	2.0	80	4.0	46.80±2.22	93.65±4.82	2.00±0.11
5	2.5	70	3.0	51.83±2.85	99.71±11.76	1.93±0.21
6	2.5	70	4.0	52.98±2.86	100.81±5.56	1.91±0.10
7	2.5	80	3.0	50.06±4.40	96.39±6.89	1.93±0.18
8	2.5	80	4.0	49.77±4.93	92.62±7.06	1.87±0.07
P 值 *P*-value						
筛片孔径 Mesh size of screen				0.454	0.603	0.780
调质温度 Conditioning temperature				0.004	0.102	0.161
模孔直径 Diameter of die hole				0.792	0.610	0.849
筛片孔径×调质温度 Mesh size of screen×conditioning temperature				0.535	0.236	0.071
筛片孔径×模孔直径 Mesh size of screen×diameter of die hole				0.500	0.879	0.323
调质温度×模孔直径 Conditioning temperature×diameter of die hole				0.134	0.133	0.955
筛片孔径×调质温度×模孔直径 Mesh size of screen×conditioning temperature×diameter of die hole				0.413	0.55	0.544

2.3 不同工艺参数组合加工饲粮对肉鸡养分表观消化率的影响

不同工艺参数组合加工饲粮对肉鸡养分表观消化率的影响见表 7。由表可知，1~21 日龄，筛片孔径、调质温度及其之间的交互作用对肉鸡干物质、能量和粗蛋白质表观消化率的影响不显著（P>0.05）。当调质温度为 70 ℃时，筛片孔径为

2.0 mm 时的干物质、能量和粗蛋白质表观消化率比 2.5 mm 时略高，而当调质温度为 80 ℃时，则相反。本试验条件下，筛片孔径为 2.5 mm、调质温度为 80 ℃，1~21 日龄肉鸡干物质、能量和粗蛋白质表观消化率较高。

22~42 日龄，筛片孔径对肉鸡干物质、能量表观消化率有显著的影响（$P<0.05$），对粗蛋白质表观消化率有极显著的影响（$P<0.01$），调质温度对肉鸡干物质、能量和粗蛋白质表观消化率有极显著的影响（$P<0.01$），模孔直径则对各养分表观消化率影响不显著（$P>0.05$），筛片孔径、调质温度和模孔直径两两因素之间的交互作用影响不显著（$P>0.05$），但筛片孔径、调质温度和模孔直径三因素交互作用的影响却极显著（$P<0.01$）。当筛片孔径为 2.0 mm 时，模孔直径为 3.0 或 4.0 mm 时，调质温度为 70 ℃时的干物质表观消化率高于 80 ℃时；但当模孔直径为 3.0 mm 时，调质温度为 70 ℃时的能量和粗蛋白质表观消化率高于 80 ℃时，而当模孔直径为 4.0 mm 时，调质温度为 80 ℃时的能量和粗蛋白质表观消化率则高于 70 ℃时。当筛片孔径为 2.5 mm、相同模孔直径时，调质温度为 70 ℃时的干物质、能量和粗蛋白质表观消化率均高于 80 ℃时。本试验条件下，当筛片孔径为 2.5 mm、调质温度为 70 ℃、模孔直径为 4.0 mm 时，22~42 日龄肉鸡干物质、能量和粗蛋白质表观消化率最高。

批注 [W用2]: 对哪些指标的影响

表 7　不同工艺参数组合加工饲粮对肉鸡养分表观消化率的影响

Table 7　Effects of diets processed by different process parameters combination on nutrient apparent digestibility of broilers　　%

处理 Treatments	筛片孔径 Mesh size of screen/mm	调质温度 Conditioning temperature/℃	模孔直径 Diameter of die hole/mm	干物质表观消化率 Apparent digestibility of dry matter	能量表观消化率 Apparent digestibility of energy	粗蛋白质表观消化率 Apparent digestibility of crude protein
1~21 日龄 1 to 21 days of age						
1	2.0	70	—	75.55±3.93	76.63±4.36	59.84±7.92
2	2.0	80	—	71.36±5.23	72.69±4.06	52.66±11.05
3	2.5	70	—	74.82±5.36	76.01±4.77	58.25±10.80
4	2.5	80	—	76.22±9.74	77.96±9.25	59.53±18.08
P 值 *P*-value						
筛片孔径 Mesh size of screen				0.535	0.450	0.683
调质温度 Conditioning temperature				0.674	0.743	0.647
筛片孔径×调质温度 Mesh size of screen×conditioning temperature				0.405	0.342	0.514
22~42 日龄 22 to 42 days of age						
1	2.0	70	3.0	65.72±6.60	61.64±7.63	61.33±8.50
2	2.0	70	4.0	54.81±1.38	50.04±3.22	48.55±3.15
3	2.0	80	3.0	52.89±0.83	47.90±1.78	46.49±2.35
4	2.0	80	4.0	53.03±2.44	51.79±3.73	51.97±1.95
5	2.5	70	3.0	62.67±3.58	58.92±4.61	59.25±4.96
6	2.5	70	4.0	70.52±6.63	68.14±7.32	68.06±6.53
7	2.5	80	3.0	59.98±4.57	54.73±5.22	55.96±5.58

8	2.5	80	4.0	55.12±7.42	51.62±8.49	50.46±5.43
P 值 *P*-value						
筛片孔径 Mesh size of screen				0.013	0.031	0.009
调质温度 Conditioning temperature				0.001	0.003	0.002
模孔直径 Diameter of die hole				0.336	0.866	0.648
筛片孔径×调质温度 Mesh size of screen×conditioning temperature				0.665	0.362	0.284
筛片孔径×模孔直径 Mesh size of screen×diameter of die hole				0.099	0.157	0.233
调质温度×模孔直径 Conditioning temperature×diameter of die hole				0.836	0.739	0.650
筛片孔径×调质温度×模孔直径				0.008	0.009	0.002

3 讨 论

3.1 不同工艺参数组合对肉鸡颗粒饲料加工质量的影响

谢正军等[12]采用 3 种筛板孔径分别为 1、2 和 3 mm 的饲料制粒，发现随物料粒度的增大颗粒饲料的稳定度依次显著下降。本试验中，相同调质温度和模孔直径下，颗粒硬度和 PDI 随筛片孔径的变化没有呈现规律。通常情况下，筛片孔径越细，物料比表面积大，在调质过程中与蒸汽的接触越充分，越有利于热量和水分的传递，熟化效果越好，制粒越易成型，但是也有报道显示细粒度谷物不影响颗粒饲料的稳定度[13-15]。同时，粒度大小、蒸汽作用的时间以及模孔直径对颗粒饲料质量的影响存在交互作用。粒度大小对颗粒稳定度的影响还与饲料种类有关，若饲料中淀粉主要是角质化淀粉则粒度影响较小，脂肪含量较高，则粒度影响不显著[16]。其可能是饲粮组分和其他加工参数对筛片孔径的作用产生了影响。一般认为，进入调质器的蒸汽流量越大，调质温度越高，饲料的调质程度就越好，颗粒饲料的 PDI 就越高，硬度越大[17-19]。本试验中，相同筛片孔径和模孔直径条件下，调质温度越高，饲料颗粒硬度和 PDI 越高。这与以往的研究结果一致。谭鹤群等[11]报道，提高调质温度，减小环模孔径可以降低成品粉化率。陈山等[20]报道，环模压缩比越大，制成的颗粒饲料硬度越大；模孔直径越小，制成的颗粒饲料越紧实，硬度就越大。本试验中，相同筛片孔径和调质温度下，颗粒硬度和 PDI 随模孔直径的增大有降低趋势。这与以往的研究结果一致。

3.2 不同工艺参数组合加工饲粮对肉鸡生长性能的影响

Silversides 等[21]研究表明调质温度过高将降低雏鸡的生长性能。由于调质温度过高时会降低饲粮中某些有益酶和维生素的活性，还会引起蛋白质和氨基酸发生美拉德反应，从而降低肉鸡对营养物质的消化吸收率。Creswell 等[22]研究了 6 种饲粮都分别经 65~105 ℃调质后制成颗粒料，结果表明无论哪种饲粮，若调质温度过高都会引起肉鸡生长性能的降低，并且这种下降主要表现在体增重和料重比方面。原料的粉碎粒度对于肉鸡的生长性能有着重要的影响，生长性能过大或者过小都不利于肉鸡的生长。Healy 等[23]研究了玉米、硬高粱和软高粱的筛片孔径对肉鸡生长性能和养分利用率的影响，发现对于 1~21 日龄肉仔鸡而言，玉米、硬高粱和软高粱的适宜筛片孔径分别为 700、500 和 300 μm，且一定范围内筛片孔径的减小提高了肉鸡生长性能。Nir 等[24]研究报道，肉鸡饲料谷物的粉碎粒度为中粒度即 700~900 μm 时，肉鸡的生长性能最佳。谭鹤群等[11]的研究表明，高调质温度与小环模孔径对饲养效果的改善是有一定限度的。过分强调高调质温度和小环模孔径是不明智的。本试验结果表明，肉鸡 1~21 日龄，当筛片孔径相同时，调质温度越低，肉鸡生长性能越高、料重比越低。通常认为正常的制粒温度不足以使饲粮中的纤维溶解或形成抗性淀粉，但是，饲粮在调质器中受到温度、湿度、压力以及调质时间的综合作用下，其营养物质的利用率可能受影响而降低。当调质温度相同时，筛片孔径越小，生长性能越高。其原因在于，过粗的颗粒会影响幼龄禽类的生长性能，饲粮通过肌胃速度较慢，且雏鸡肌胃尚未发育完善，不能破碎大颗粒。这与以往研究结果一致。在肉鸡 22~42 日龄，相同调质温度和模孔直径下，筛片孔径对肉鸡生长性能的影响不显著，可能是制粒的原因。在相同筛片孔径和模孔直径条件下，调质温度越低，肉鸡的生长性能越好、料重比越低。这是由于调质温度过高会降低饲粮中某些有益酶和维生素的活性，还会引起美拉德反应，从而降低肉鸡的生长性能。当调质温度为 70 ℃、筛片孔径相同的条件下，模孔直径越大，肉鸡的生长性能越好。小模孔直径对肉鸡生长性能的改善是有一定限度的，应该挑选合适的模孔直径。本试验中，肉鸡 1~42 日龄，在相同筛片孔径和模孔直径下，调质温度越低，肉鸡的生长性能越好，原因是进行高温制粒时可能会因发生美拉德反应而使其中的赖氨酸和精氨利用率降低，饲粮中的可利用能量也可因其中的淀粉形成抗性复合物而降低，从而降低了肉鸡的生长性能。

3.3 不同工艺参数组合加工饲粮对肉鸡养分表观消化率的影响

颗粒饲料会在肉鸡肌胃中散开，因而可以影响肉鸡的生长性能和养分表观消化率。粒度降低，可增加饲粮与消化酶接触的表面积，改善营养素的消化率，但谷物粒度与消化率之间的关系仍不明确[25]。王卫国等[26]研究了 5 种不同原料（豆粕、玉米、菜籽粕、棉籽粕和麸皮）在 5 种筛片孔径下（0.6、1.0、1.5、2.5 和 4.0 mm）的粗蛋白质体外利用率，结果表明所有原料粗蛋白质体外利用率都随着碎粉粒度的降低而增加。物料受热后淀粉容易发生糊化，蛋白质发生变性，

有利于肉鸡消化吸收，但不是物料受热程度越高越好，当调质温度较高时，饲粮中有还原糖的存在，容易与氨基酸发生美拉德反应，从而降低氨基酸消化吸收利用率[27]。本研究结果表明，筛片孔径、调质温度及其之间的交互作用对1~21日龄肉鸡干物质、能量和粗蛋白质表观消化率影响不显著。但是，当筛片孔径为2.5 mm、调质温度为80 ℃时，肉鸡干物质、能量和粗蛋白质表观消化率较高。原因可能是肉仔鸡的消化器官尚未完全，调质温度越高，饲粮的熟化程度越高，越有利于肉鸡消化。本试验中，肉鸡22~42日龄，当筛片孔径为2.0 mm、模孔直径相同时，调质温度越低，干物质表观消化率越高；当筛片孔径为2.0 mm、模孔直径为3.0 mm时，调质温度较低时，能量和粗蛋白质表观消化率较高；当筛片孔径为2.5 mm、相同模孔直径时，调质温度越高，肉鸡养分表观消化率越低。王之盛等[28]研究报道，与未经加工的粉料相比，加热128 ℃使蛋白质溶解度降低40.28%，85 ℃降低11.08%，42 ℃降低6.48%，27 ℃降低3.96%，温度升高显著影响蛋白质溶解度。另外加热温度过高会引起还原糖与氨基酸发生美拉德反应，并且，随着温度升高，蛋白质因褐变损失越严重。因此，应该适当降低调质温度。

4　结　论

① 相同筛片孔径和模孔直径下，颗粒硬度和PDI随调质温度升高有增大的趋势；相同筛片孔径和调质温度下，颗粒硬度和PDI随模孔直径的增大有降低趋势。

② 肉鸡1~21日龄，粉碎粒度选择筛片孔径为2.0和2.5 mm均可，调质温度为70 ℃时肉鸡的生长性能极显著高于80 ℃时，调质温度为70 ℃时肉鸡的料重比显著低于80 ℃。

③ 肉鸡22~42日龄，当选择筛片孔径为2.0或2.5 mm、调质温度为70 ℃、模孔直径为4.0 mm制粒时，肉鸡的生长性能较高、料重比较低。

④ 肉鸡1~42日龄，当选择筛片孔径为2.0或2.5 mm、调质温度为70 ℃、模孔直径为4.0 mm制粒时，肉鸡的生长性能较高、料重比较低。

⑤ 肉鸡1~21日龄，当选择筛片孔径为2.5 mm、调质温度为80 ℃制粒时，肉鸡干物质、能量和粗蛋白质表观消化率较高。

⑥ 肉鸡22~42日龄，当选择筛片孔径为2.5 mm、调质温度为70 ℃、模孔直径为4.0 mm制粒时，肉鸡干物质、能量和粗蛋白表观消化率最高。

参考文献：

[1]　张现玲,段海涛,倪海球,等.调质温度和粉碎粒度对肉鸡生长性能及养分表观利用率的影响[J].动物营养学报,2015,27(7):2052–2059.

[2]　PARSONS A S,BUCHANAN N P,BLEMINGS K P,et al.Effect of corn particle size and pellet texture on broiler performance in the growing phase[J].The Journal of Applied Poultry Research,2006,15(2):245–255.

[3]　RIBEIRO A M,MAGRO N,PENZ A M,Jr.Corn particle size on broiler grower diets and its effect on performance and metabolism[J].Revista Brasileira de Ciência Avícola,2002,4(1):47–53.

[4]　梁明,杨维仁,吕爱军.粉碎粒度对制粒和畜禽生产性能的影响[J].饲料博览,2011(9):30–32.

[5]　李清晓,李忠平,颜培实,等.豆粕粉碎粒度对肉鸡日粮养分利用率的影响[J].家畜生态学报,2006,27(5):20–25.

[6]　HETLAND H,SVIHUS B,OLAISEN V.Effect of feeding whole cereals on performance,starch digestibility and duodenal particle size distribution in broiler chicken[J].British Poultry Science,2002,43(3):416–423.

[7]　SVIHUS B,KLØVSTAD K H,PEREZ V,et al.Physical and nutritional effects of pelleting broiler chicken diets made from wheat ground to different coarsenesses by the use of a roller mill and hammer mill[J].Animal Feed Science and Technology,2004,117(3/4):281–293.

[8]　KIRKPINAR F, BASMACIOĞLU H.Effects of pelleting temperature of phytase supplemented broiler feed on tibia

mineralization,calcium and phosphorus content of serum and performance[J].Czech Journal of Animal Science,2006,51(2):78–84.

[9] 胡彦茹.不同调质温度对颗粒饲料质量和肉鸡生产性能的影响[D].硕士学位论文.南昌:江西农业大学,2011.

[10] 谭鹤群,张炳利,刁诗龙.制粒工艺参数对制粒效果影响的试验研究[J].中国饲料,1998(22):6–7.

[11] 谭鹤群,宗力,熊先安.制粒工艺参数对肉鸡生产性能的影响[J].粮食与饲料工业,1999(9):29–30.

[12] 谢正军,易炳权.粉碎对饲料质量和加工成本的影响[J].中国饲料,2001(22):18–19.

[13] REECE F N,LOTT B D,DEATON J W.The effects of hammer mill screen size on ground corn particle size,pellet durability,and broiler performance[J].Poultry Science,1986,65(7):1257–1261.

[14] KOCH K.Hammermills and rollermills[R].MF-2048 Feed manufacturing.Manhattan:Department of Grain Science and Industry,Kansas State University,1996:8.

[15] 李忠平.粉碎粒度对饲料加工生产性能的影响[J].饲料工业,2001,22(4):5–7.

[16] 孙剑,周小秋.饲料粉碎粒度与饲料营养价值和动物生产性能的关系[J].饲料研究,1999(3):23–26.

[17] 卢新流.不同调质温度对颗粒饲料品质的影响[J].广东饲料,1996(5):17–18.

[18] 王敏.不同调质温度对颗粒饲料品质的影响[J].饲料与畜牧,2005(2):9–10.

[19] CUTLIP S E,HOTT J M,BUCHANAN N P,et al.The effect of steam-conditioning practices on pellet quality and growing broiler nutritional value[J].The Journal of Applied Poultry Research,2008,17(2):249–261.

[20] 陈山,田河,郭东新.环模压缩比对能耗及颗粒饲料质量影响的研究进展[J].饲料研究,2015(24):16–18,33.

[21] SILVERSIDES F G,BEDFORD M R.Effect of pelleting temperature on the recovery and efficacy of a xylanase enzyme in wheat-based diets[J].Poultry Science,1999,78(8):1184–1190.

[22] CRESWELL D,BEDFORD M.制粒温度过高将降低肉鸡生长性能[J].余学兰,译.广东饲料,2006,15(4):15–17.

[23] HEALY B J,BRAMEL-COX P J,KENNEDY G A,et al.Optimum particle size of corn and hard and soft sorghum grain for nursery pigs and broiler chicks[R].Manhattan:Kansas State University,1991:55–62.

[24] NIR I,HILLEL R,PTICHI I,et al.Effect of particle size on performance.3.Grinding pelleting interactions[J].Poultry Science,1995,74(5):771–783.

[25] AMERAH A M,RAVINDRAN V,LENTLE R G,et al.Feed particle size:implications on the digestion and performance of poultry[J].World's Poultry Science Journal,2007,63(3):439–445.

[26] 王卫国,李石强,张磊,等.六种饲料原料粉碎度与蛋白质溶解度关系研究[J].饲料工业,2002,23(5):6–8.

[27] 刘梅英,熊先安,宗力.饲料加工对营养的影响及研究方向[J].饲料研究,2000(1):26–29.

[28] 王之盛,周安国,陈德,等.加工对配合饲料蛋白质营养价值的影响[J].四川农业大学学报,2000,18(1):57–61.

Effects of Different Process Parameters Combination on Pellet Feed Quality, Growth Performance and Nutrient Apparent Digestibility of Broilers

MA Shifeng[1,2] LI Junguo[1] YU Jibin[1] YU Zhiqin[1] QIN Yuchang[3*]

（1. *Feed Research Institute*, *Chinese Academy of Agriculture Sciences*, *Beijing* 100081, *China*; 2. *Institute of Food and Nutritional Development, Ministry of Agriculture*, *Beijing* 100081, 3. *China Institute of Animal Sciences, Chinese Academy of Agriculture Sciences*, *Beijing* 100193, *China*）

Abstract: This research aimed to study the effects of different combination of mesh size of screen, conditioning temperature and diameter of die hole on processing quality of pellet feed, growth performance and nutrient apparent digestibility of broilers. A common corn-soybean meal type diet for broilers was used in this experiment, and under the same recipe and slenderness ratio of die

批注 [W用3]: ,

hole, a pellet feed processing test with 3 factors of 2 levels (mesh size of screen was 2.0 and 2.5 mm, conditioning temperature was 70 and 80 °C, and diameter of die hole was 3 and 4 mm) was designed. A total of 864 one-day-old Arbor Acres broilers were randomly divided to 8 treatments with 6 replicates each and 18 broilers per replicate. The feeding experiment lasted for 42 days consisting of 2 stages with 1 to 21 days and 22 to 42 days of age. The results show as follows: 1) the pellet hardness was significantly affected by the interaction of screen mesh size and diameter of die hole and the interaction of diameter of die hole and conditioning temperature (P<0.01). The pellet durability index (PDI) was significantly affected by interaction of diameter of die hole and conditioning temperature, the interaction of screen mesh size and conditioning temperature and the interaction of screen mesh size, conditioning temperature and diameter of die hole (P<0.01). The PDI was significantly affected by the interaction of screen mesh size and diameter of die hole (P<0.05). 2) The final body weight, average daily gain and average daily feed intake of broilers of 1 to 21 days of age were significantly affected by conditioning temperature (P<0.01). The final body weight of broilers of 22 to 42 days of age was significantly affected by conditioning temperature (P<0.01), too. 3) Nutrient apparent digestibility of broilers of 1 to 21 days of age was not significantly affected by screen mesh size, conditioning temperature and the interaction of both (P>0.05). While apparent digestibility of dry matter, energy and crude protein of broilers of 22 to 42 days of age were significantly affected by the interaction of screen mesh size, conditioning temperature and diameter of die hole (P<0.01). In conclusion, under the same screen mesh size and diameter of die hole, pellet hardness and PDI were increased with the conditioning temperature increasing. Under the same screen mesh size and conditioning temperature, pellet hardness and PDI were decreased with the diameter of die hole increasing. Growing performance of broilers of 1 to 21 days of age was increased with conditioning temperature increasing which showed significantly higher under 70 °C than 80 °C whatever screen mesh size was 2.0 or 2.5 mm, and the ratio of feed to gain was decreased with conditioning temperature increasing with the same tendency. Growing performance and the ratio of feed to gain of broilers of 22 to 42 days of age showed a better value when screen mesh size was 2.0 or 2.5mm, conditioning temperature was 70 °C and diameter of die hole was 4.0 mm. Growing performance and the ratio of feed to gain of broilers of 1 to 42 days of age showed a better value when screen mesh size was 2.0 or 2.5mm, conditioning temperature was 70 °C and diameter of die hole was 4.0 mm. Apparent digestibility of dry matter, energy and crude protein of broilers of 1 to 21 days of age showed a better value when screen mesh size was 2.5 mm and conditioning temperature was 80 °C. Apparent digestibility of dry matter, energy and crude protein of broilers of 22 to 42 days of age showed a better value when screen mesh size was 2.5 mm, conditioning temperature was 70 °C and diameter of die hole was 4.0 mm.

Key words: screen mesh size; conditioning temperature; diameter of die hole; broiler diet; growing performance; apparent digestibility

批注 [W用4]: 一般作为不可数用 digestibility,题目中用的是 digestibility，后同

*Corresponding author, professor, E-mail: qinyuchang@caas.cn

（责任编辑　田艳明）